

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
23. Oktober 2003 (23.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/088434 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01S 3/08**

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP03/03794**

(22) Internationales Anmeldedatum:  
11. April 2003 (11.04.2003)

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:  
102 16 627.7 15. April 2002 (15.04.2002) **DE**

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): **CARL ZEISS MEDITEC AG [DE/DE];**  
Göschwitzer Strasse 51-52, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KEMPE, Michael**

[DE/DE]; Am Mönchenberge 8, 07751 Kunitz (DE).  
**MACK, Stefan [DE/DE];** Kandelstrasse 39, 79106  
Freiburg (DE). **MÜHLHOFF, Dirk [DE/DE];** Am  
Mönchenberge 2, 07751 Kunitz (DE).

(74) Anwälte: **BREIT, Ulrich** usw.; Geyer, Fehners & Partner,  
Perhamerstrasse 31, 80687 München (DE).

(81) Bestimmungsstaat (national): **US.**

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

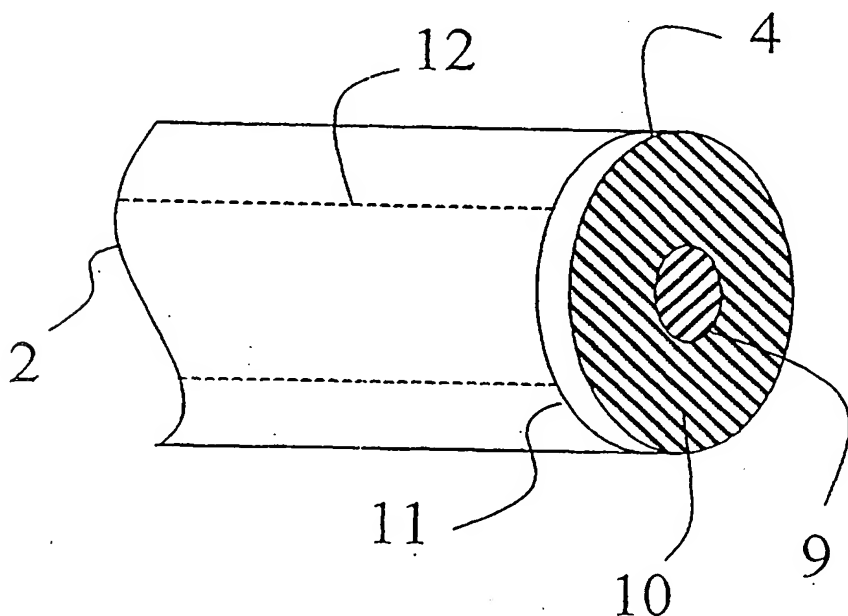
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: **FIBRE LASER COMPRISING A MODE-SELECTIVE CAVITY MIRROR**

(54) Bezeichnung: **FASERLASER MIT MODENSELEKTIVEM RESONATORSPIEGEL**



(57) Abstract: The invention relates to a laser comprising a cavity (3, 4) which is defined by an end mirror (3) and a decoupling mirror (4). A fibre (2) comprising an active core (12) is arranged in said cavity and can be excited by pump radiation until it has a multimodal laser activity, in such a way that a plurality of transversal modes form in the cavity (3, 4). A mixture of modes is present in the fibre (2), and the decoupling (4) mirror comprises reflection properties for laser and pump radiation, said properties varying according to the location, such that it reflects the pump radiation and the laser radiation which does not leave the active core (12) of the fibre (2), and significantly decouples low transversal modes.

(57) Zusammenfassung: Es ist vorgesehen ein Laser mit einem Resonator (3, 4), der durch einen Endspiegel

(3) und einem Auskoppelspiegel (4) begrenzt ist und in dem eine Faser (2) angeordnet ist, die einen aktiven Kern (2) aufweist und durch Pumpstrahlung so zu multimodaler Lasertätigkeit anregbar ist, dass sich im Resonator (3, 4) mehrere transversale Moden ausbilden, wobei in der Faser (2) eine Modenmischung stattfindet und der Auskoppelspiegel (4) derart örtlich variierende Reflexionseigenschaften für Laser- und Pumpstrahlung aufweist, dass er Pumpstrahlung sowie nicht aus dem aktiven Kern (13) der Faser (2) austretende Laserstrahlung reflektiert und damit niedere transversale Moden verstärkt auskoppelt.

WO 03/088434 A1

## FASERLASER MIT MODENSELEKTIVEM RESONATORSPIEGEL

Die Erfindung bezieht sich auf einen Laser mit einem Resonator, der durch einen Endspiegel  
5 und einen Auskoppelspiegel begrenzt ist und in dem eine Faser angeordnet ist, die einen  
aktiven Kern aufweist.

Aus der Literatur ist es vielfältig bekannt, Laserresonatoren so zu konfigurieren, daß eine  
beugungsbegrenzte Lichtemission erfolgt. In all diesen Anordnungen wird durch eine geeignete  
10 Resonatorauslegung dafür gesorgt, daß Strahlung mit hoher Strahlqualität im Resonator  
ausreichend verstärkt wird. Strahlung mit geringer Strahlqualität wird dagegen durch interne  
Verluste beziehungsweise phasenunrichtige Überlagerung unterdrückt. Auch ist es bekannt,  
instabile Resonatoren zu verwenden, so zum Beispiel S. Townsend, J. Reilly, Unobscured  
unstable resonator design for large bore lasers, Proc. SPIE Vol. 0147, S. 184-188, 1989. Solche  
15 Faserlaser haben jedoch diesbezüglich den Nachteil, daß die Strahlqualität der Pumpstrahlung  
sich unmittelbar auf die Strahlqualität der emittierten Laserstrahlung auswirkt. Da Lasertätigkeit  
vorwiegend im Faserkern angeregt wird, ist bei gegebener numerischer Apertur der Faser  
zugleich durch die Brillanz der Strahlungsquelle die einkoppelbare Strahlungsintensität  
begrenzt. In der Regel gibt dann der Faserkerndurchmesser den Durchmesser des emittierten  
20 Strahles vor. Doppelkernfasern bieten hier eine gewisse Abhilfe; sie sind jedoch aufwendig und  
teuer in der Herstellung. Zudem erfordert die wirksame Kopplung zwischen innerem und  
äußerem Kern eine große Faserlänge, was nicht nur zu einer gesteigerten Baugröße, sondern  
auch durch unvermeidliche Streuung und Absorption im Fasermaterial zu erhöhten Verlusten im  
Laserresonator führt.

25 Aufgrund dieser Übereinstimmung von Strahlqualität der Pumpquelle und Strahlqualität der vom  
Faserlaser abgegebenen Strahlung ist der Einsatz eines Faserlasers bislang unvermeidlich an  
relativ aufwendige Pumpquellen gekoppelt, beziehungsweise durch die Leistungsfähigkeit der  
Pumpquelle eingeschränkt.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen Laser mit einer Faser zu schaffen, der auch mit Pumpstrahlung geringerer Strahlqualität eine Laserstrahlung hoher Strahlqualität zu erzeugen vermag.

- 5 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Laser mit einem Resonator, der durch einen Endspiegel und einem Auskoppelspiegel begrenzt ist und in dem eine Faser angeordnet ist, die einem aktiven Kern aufweist und durch Pumpstrahlung so zu multimodaler Lasertätigkeit anregbar ist, daß sich im Resonator mehrere transversale Moden ausbilden, wobei in der Faser eine Modenmischung stattfindet und der Auskoppelspiegel derart örtlich variierende
- 10 Reflexionseigenschaften für Laser- und Pumpstrahlung aufweist, daß er Pumpstrahlung sowie nicht aus dem aktiven Kern der Faser austretende Laserstrahlung reflektiert und damit niedere transversale Moden verstärkt auskoppelt.

- Erfindungsgemäß wird also in einem Faserlaser bewußt ein multimodales Feld angeregt. Der
- 15 Auskoppelspiegel hat die Funktion einer Modenblende, die eine Transmission der Grundmode bevorzugt, die Auskopplung von Strahlung höherer transversaler Moden aber weitgehend unterdrückt. Vorzugsweise verbleiben solche höheren Moden in der Faser, da aufgrund der in einer Faser immer stattfindenden Modenmischung, die durch Faserdesion und weitere Maßnahmen optimiert werden kann, eine erneute Einkopplung von Leistung aus der höheren
- 20 Mode in die Grundmode auftritt.

- Durch das erfindungsgemäße Konzept kann eine große Einkoppelfläche für Pumpstrahlung verwendet werden, ohne daß dabei die Strahlgüte der abgegebenen Laserstrahlung degradieren würde. Beispielsweise können Monokern-Fasern mit einem sehr großen
- 25 Kerndurchmesser verwendet werden, ohne daß sich mit der Vergrößerung des Querschnitts des aktiven Kerns automatisch die Güte der emittierten Strahlung änderte.

- Neben der Grundmode bilden sich auch höhere transversale Moden aus, wobei der erfindungsgemäße Auskoppelspiegel eine entsprechende Modenselektion für den Laserstrahl
- 30 bewirkt. Die effektive Modenmischung in multimodigen Fasern sorgt dafür, daß innerhalb des aktiven Mediums alle ausbreitungsfähigen Moden verstärkt werden und somit die von einer multimodigen Pumpquelle erzeugte Inversion effektiv ausgenutzt werden kann. Dennoch ist die Auskopplung auf Strahlung höherer, bzw. einstellbarer Strahlgüte begrenzt und die Strahlung geringerer Strahlgüte verbleibt im Resonator.

- 35 Darüber hinaus stellt die Brillanz der Pumpquelle nun nicht mehr eine spürbare Grenze für die Leistung des Lasers dar. Bei hoher numerischer Apertur der Faser kann eine hohe Pumpstrahlungsintensität eingekoppelt werden, ohne daß an die Brillanz der Pumpquelle

besonders hohe Anforderungen bestünden. Die Erfindung vermeidet damit den Engpaß, der bei Lasern im Stand der Technik durch die enge Koppelung zwischen maximaler einbringbarer Pumpleistung als Produkt aus Intensität und Querschnittsfläche an den Durchmesser des emittierten Laserstrahls bewirkt. Der Durchmesser des aktiven Kerns kann nun deutlich größer  
5 gewählt werden als der Durchmesser des emittierten Strahls, womit entsprechend die Strahlqualität der Pumpstrahlung kleiner sein kann als die der emittierten Laserstrahlung. Anders betrachtet heißt dies, daß die Strahlqualität der emittierten Strahlung im erfindungsgemäßen Laser besser wird als die der Pumpstrahlung. Diese an und für sich nur von aufwendigen Doppelkernfasern bekannte Eigenschaft, wird nun sehr viel einfacher und  
10 ohne die erwähnten Nachteile des Doppelkernprinzips erreicht.

Das Konzept, den Strahldurchmesser durch den Auskoppelspiegel festzulegen, erlaubt es weiter auch, Fasern mit nicht kreisquerschnittsförmigen aktiven Kernen zu verwenden. So kann beispielsweise ein D-förmiger Querschnitt für den aktiven Kern eingesetzt werden, der  
15 besonders gut verschiedene transversale Moden miteinander koppelt.

In einer einfachen Verwirklichung des erfindungsgemäßen Konzeptes weist der Auskoppelspiegel eine vorgeschaltete Modenblende mit entsprechenden Eigenschaften auf. Jedoch verringert sich oft die Laserdifferenz, wenn diese Modenblende die Pumpstrahlung nicht  
20 reflektiert. Es ist deshalb für diese einfache Ausführung vorteilhaft, daß der Auskoppelspiegel als die Pumpstrahlung reflektierende Modenblende ausgebildet ist.

In einer Weiterbildung dieser einfachen Gestaltung weist der Auskoppelspiegel eine innere Zone und eine die innere Zone umgebende äußere Zone auf, wobei die äußere Zone für Laser- und Pumpstrahlung reflektierend ist und die innere Zone für Laserstrahlung einen geringeren Reflektionsgrad als die äußere Zone aufweist. Die örtliche variierende Reflektionseigenschaft des Auskoppelspiegels ist dann in Form zweier unterschiedlich reflektierender Zonen verwirklicht. Die Form der inneren Zone wirkt sich auf den Strahlquerschnitt aus, wird also in der Regel applikationsabhängig zu wählen sein. Ein solcher, eine innere und eine äußerer Zone  
25 aufweisende Auskoppelspiegel ist relativ einfach zu fertigen, insbesondere kann er auch durch Beschichtung eines Endes der Faser hergestellt werden. Eine solche direkte Beschichtung ist unter dem Gesichtspunkt, daß dann keine separaten Justierschritte mehr erforderlich sind, vorteilhaft.  
30

Für die meisten Anwendungen ist ein Laserstrahl mit kreisförmigem Strahldurchmesser erwünscht. Man wird dann die innere Zone in der Regel kreisförmig gestalten. Es ist dazu vorteilhaft, daß die innere Zone kreisförmig mit einem Durchmesser kleiner als der Durchmesser des aktiven Kerns ist. Um das Verhältnis, um das die innere Zone kleiner ist als  
35

die Querschnittsfläche des aktiven Kerns, wird die Strahlqualität zwischen eingekoppelter Pumpstrahlung und ausgekoppelter Laserstrahlung gesteigert. Durch entsprechende Gestaltung der inneren Zone im Verhältnis zur Querschnittsfläche des aktiven Kerns kann hierbei nahezu jedes gewünschte Verhältnis eingestellt werden.

.5

Unter dem Gesichtspunkt einfacher Herstellung ist es zu bevorzugen, den Auskoppelspiegel nicht direkt auf ein Faserende aufzubringen, sondern als diskretes Bauelement zu realisieren, wobei optional zwischen dem Ende der Faser und dem Auskoppelspiegel noch eine strahlaufweitende Optik geschaltet werden kann. Um hier die verstärkte Auskopplung niederer transversaler Moden, d.h. um möglichst monomodale Laserstrahlung zu erreichen, ist der Querschnitt der inneren Zone in diesem Fall immer kleiner als der aufgeweitete Querschnitt des aktiven Kerns. Bei einer kreisförmigen inneren Zone und einem kreisförmigen aktiven Kern ist es dann z.B. vorteilhaft, die innere Zone mit einem kleineren Durchmesser als den ausgeweiteten Durchmesser des aktiven Kerns auszustatten.

15

Eine weitere Möglichkeit, die erzeugte Laserstrahlung hinsichtlich Strahlprofil, Intensitätsverteilung und Ausbreitungsverhalten mit Blick auf die Anforderungen einer bestimmten Anwendung zu gestalten, liegt darin, die innere Zone nicht coaxial zu der aus dem aktiven Kern austretenden Strahlung anzuordnen. Damit kann ein gezieltes Beimischen höherer transversaler Moden vorgenommen werden, was sich auf die Intensitätsverteilung und damit das Strahlprofil unmittelbar auswirkt.

20

Im erfindungsgemäßen Konzept wird die nicht ausgekoppelte Strahlung wieder in den Resonator zurückgeworfen. Dabei handelt es sich insbesondere um Strahlung höherer transversaler Moden, die aufgrund der Geometrie des Resonators und insbesondere bei hoher numerischer Apparatur des aktiven Kerns der Faser im Resonator angeregt werden. Die Mischung aus verschiedenen transversalen Moden erreicht eine sehr gleichmäßige Intensitätsverteilung über den Querschnitt der inneren Zone des Auskoppelspiegels. Die Energie wieder in den Resonator zurückgeworfener Strahlung nicht ausgekoppelter Moden wird durch die in der Faser inhärent stattfindenden Modenmischung in die letztlich in die ausgekoppelten niederen transversalen Moden eingebracht. Um die Modenmischung zu fördern, ist es vorteilhaft, die Faser in Schlaufen oder Biegungen zu verlegen.

30

Eine weitere Möglichkeit, die interne Modenmischung bei der Faser im erfindungsgemäßen Laser zu verstärken, besteht darin, eine Faser einzusetzen, deren aktiver Kern D-förmigen Querschnitt hat. Bei solchen Fasern sind die Modenmischungseigenschaften besonders stark ausgeprägt. Sie eignen sich deshalb besonders gut für den erfindungsgemäßen Laser.

35

Die Eigenschaften des Auskoppelspiegels legen den Strahlquerschnitt des ausgekoppelten Laserstrahls fest. Bei einem Resonator, bei dem Lasertätigkeit auf mehreren Wellenlängen angeregt werden kann, wirken sich die spektralen Reflektionseigenschaften des Auskoppelspiegels auch auf die spektrale Zusammensetzung des abgegebenen Laserstrahls aus. Durch geeignete Wahl der Reflektions- beziehungsweise Transmissions-eigenschaften des Auskoppelspiegels kann somit sowohl der Durchmesser als auch die Wellenlänge des ausgekoppelten Laserstrahls beeinflußt werden. Dies bietet die Möglichkeit, auf einfache Weise einen abstimmbaren beziehungsweise umschaltbaren Laser zu erreichen, indem ein wechselbarer Auskoppelspiegel vorgesehen ist.

10

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beispielshalber noch näher erläutert. In den Zeichnungen zeigt:

- Figur 1 eine Schemazeichnung eines Faserlasers,
- 15 Figur 2 eine schematische Darstellung einer Endfläche der Faser des Faserlasers mit aufgebrachtem Auskoppelspiegel,
- Figur 3 eine Draufsicht auf die Endfläche der Figur 2,
- Figur 4 eine schematische Darstellung eines weiteren Auskoppelspiegels,
- Figur 5 eine das Strahlprofil zeigende Kurve und
- 20 Figur 6 eine Schnittdarstellung durch die Endfläche einer Faser eines Lasers mit einer die Intensität einer Mode veranschaulichenden Kurve.

Der in Figur 1 dargestellte Faserlaser 1 weist eine Faser 2 auf, die in einem Resonator liegt. Der Resonator wird von einem Endspiegel 3 sowie einem Auskoppelspiegel 4 gebildet. Am Endspiegel 3 wird über eine Pumpquelle 5 Pumpstrahlung 6 in den aktiven Kern der Faser 2 eingekoppelt. Bei der Pumpquelle 5 kann es sich beispielsweise um eine oder eine mehrere Laserdioden handeln. Der Endspiegel 3 ist durch eine geeignete Beschichtung transparent für Pumpstrahlung und hochreflektierend für in der Faser 2 angeregte Laserstrahlung. Der aktive Kern der Faser ist bezüglich Durchmesser bzw. numerischer Apertur so bemessen, daß sich bei der Anregung mehrerer transversaler Moden ausbilden können. Aufgrund der inhärenten Eigenschaften der Faser 2 findet dabei eine Modenmischung der im Resonator ausgebildeten Strahlung statt. Diese Modenmischung ist zusätzlich verstärkt, indem die Faser 2 in Biegungen 7 verlegt ist. Beispielsweise ist es möglich, die Faser 2 um einen Kern zu wickeln.

35 Am Auskoppelspiegel 4 tritt bei Pumpbetrieb ein Laserstrahl 8 aus. Dessen Wellenlänge sowie Querschnitt wird durch die Lasertätigkeit in der Faser 2 sowie durch die noch zu beschreibenden Eigenschaften des Auskoppelspiegels 4 bestimmt.

Der Resonator der Figur 1 weist eigenständige Endspiegel 3 und 4 auf. Es ist jedoch möglich, einen dieser Spiegel oder auch beide direkt auf die Endflächen der Faser 2 aufzubringen. Figur 2 zeigt schematisch den Auskoppelspiegel 4. Wie zu sehen ist, weist der Auskoppelspiegel 4 zwei Zonen auf, eine innere Zone 9 und eine äußere Zone 10. Die innere Zone 9 des Auskoppelspiegels 4 ist transmittierend für Strahlung bei der Laserwellenlänge. Sie reflektiert dagegen die Pumpstrahlung. Die äußere Zone 10 ist dagegen sowohl bei der Wellenlänge der Laserstrahlung als auch bei der Wellenlänge der Pumpstrahlung reflektierend und verhindert, daß Pump- oder Laserstrahlung im Bereich der äußeren Zone 10 austreten kann.

Figur 3 zeigt eine vergrößerte Draufsicht auf die Faser 2 im Bereich der Endfläche 11. Dabei ist der Auskoppelspiegel 4 direkt auf die Endfläche aufgebracht; die äußere 10 und die innere Zone 9 sind durch unterschiedliche Schraffuren veranschaulicht. Die innere Zone 9 ist deutlich kleiner als der Querschnitt des Faserkerns 12. Da nur die innere Zone 9 Strahlung bei der Laserwellenlänge transmittiert, wird nur dort Laserstrahlung 8 am Auskoppelspiegel 4 ausgekoppelt.

Da sich, wie bereits erläutert, in der Faser 2, d.h. in deren Faserkern 12, Laserstrahlung ausbildet, die aus einem Gemisch transversaler Moden besteht, liegt am Auskoppelspiegel 4 faserseitig neben Pumpstrahlung auch das erwähnte Modengemisch an. Die nur in einem Teilbereich des Faserkerns 12 Laserstrahlung transmittierende Zone 9 bewirkt dabei eine Modenselektion derart, daß die Strahlung bei der Grundmode bevorzugt am Auskoppelspiegel 4 austritt. Strahlungen höherer transversaler Moden wird in die Faser 2 zurückgeworfen, wo sie aufgrund deren modenmischenden Eigenschaften letztendlich wieder in die am Auskoppelspiegel 4 transmittierten niederen transversalen Moden einkoppelt, gegebenenfalls nach mehreren Umläufen.

Figur 4 zeigt eine weitere Darstellung, wie der Endspiegel 4 ausgeführt werden kann. Er ist dort nicht auf die Endfläche 11 der Faser 2 aufgebracht sondern als eigenständiges, beabstandetes Bauteil ausgeführt, da dies einfacher herzustellen ist. Zwischen der Endfläche 11 und dem Auskoppelspiegel 4 findet unter Zwischenschaltung einer Optik 13 eine Aufweitung der aus der Faser 2 austretenden Strahlung statt. Diese Aufweitung betrifft insbesondere die aus dem Faserkern 12 austretende Laserstrahlung.

Dabei divergiert die Strahlung höherer transversaler Moden stärker als die der Grundmode (in Figur 4 nicht dargestellt). Der der Optik 13 nachgeordnete Auskoppelspiegel 4 entspricht prinzipiell dem in Figur 2 dargestellten, d.h. er weist eine innere, die Strahlung bei der Laserwellenlänge transmittierende Zone 9 und eine die innere Zone 9 umgebende äußere Zone

10 auf, die sowohl bei der Laserwellenlänge als auch bei der Pumpstrahlungswellenlänge Strahlung wieder zur Endfläche 11 der Faser 2 zurückreflektiert.

5 Der Auskoppelspiegel 4 ist mit der Laserstrahlung aller in der Faser 2 angeregter, transversaler Moden beaufschlagt, wobei die erwähnte Strahlungsaufweitung durch die unterschiedliche Divergenz der verschiedenen Moden verstärkt wird. Deshalb kann die Fläche der inneren Zone 9 mitunter größer ausgestattet sein als die Querschnittsfläche des Faserkerns 12, ohne daß die gewünschte Bevorzugung der niederen oder Grundmode bei der Transmission durch die Innere Zone 9 ausgeschaltet wäre. Die gewünschte Modenfiltereigenschaften des Auskoppelspiegels 4  
10 ist dabei dadurch gewährleistet, daß die Fläche der inneren Zone deutlich kleiner ist, als die aufgeweitete, aus dem Faserkern 12 stammende Strahlung der auszuwählenden niederen Moden, insbesondere der Grundmode.

Figur 5 zeigt in einer Kurve 14 die Intensität  $I$  des Laserstrahls 8 über den Querschnitt in x-Richtung. Wie zu sehen ist, stellt sich symmetrisch zum Zentrum  $z$  annähernd ein Stufenprofil ein, das als sogenanntes Top-Hat Profil bezeichnet wird. Dieses Stufenprofil erfordert natürlich, daß nicht nur die Grundmode transmittiert wird (deren Intensitätsverteilung zwar ebenfalls symmetrisch zum Zentrum  $z$  liegt, jedoch nicht stufenartig abfällt) sondern daß die innere Zone 9 eine Beimischung höherer Moden in der Transmission vornimmt, damit die Überlagerung der  
15 Strahlung der einzelnen Moden insgesamt das Stufenprofil ergibt. Die Beimischung höherer Moden beziehungsweise die Zusammensetzung des ausgekoppelten Laserstrahls 8 aus Strahlung mehrerer transversaler Moden wirkt sich natürlich auch auf das Ausbreitungsverhalten des Laserstrahls 8, d.h. auf die Divergenzwinkel der Strahlung aus. Strahlungsanteile aus höheren Moden divergieren stärker.

25 Die Gestaltung der inneren Zone 9 im Verhältnis zum Faserkern 12 ermöglicht es, das Strahlprofil beziehungsweise das Ausbreitungsverhalten wunschgemäß zu gestalten. Dabei ist man nicht auf symmetrische Intensitätsverteilungen, wie in Figur 5 dargestellt, eingeschränkt, sondern kann durch eine außeraxiale Lage der inneren Zone 9, bezogen auf die Achse des Faserkerns 12 beziehungsweise der Achse daraus austretende Strahlung, auch ein asymmetrisches Intensitätsprofil beziehungsweise ein asymmetrisches Ausbreitungsverhalten erreichen, bei dem die Symmetrie zum Zentrum  $z$  nicht gegeben ist.

Diese Wirkung der inneren Zone 9 ist in Figur 6 schematisch verdeutlicht, die ein Intensitätsprofil 15 zeigt, das der Grundmode entspricht. Das Intensitätsprofil 15 fällt über einen Radius  $r$  vom Zentrum  $z$  aus von einem Maximum auf einen  $1/e^2$ -Anteil ab. Der Radius  $r$  ist bei multimodigen Fasern deutlich kleiner als der Faserkernradius  $a$ , der in etwa dem Radius der Intensitätsverteilung 14 multimodiger Strahlung entspricht. Durch Auskopplung innerhalb des  
35

Radius  $r$  wird Strahlung der Grundmode bevorzugt und die emittierte Laserstrahlung im Laserstrahl 8 hat eine bessere Strahlqualität als die Pumpstrahlung 6. Dabei kann am Endspiegel 3 die Pumpstrahlung 6 über einen größeren Querschnitt eingekoppelt werden, wodurch die maximale einkoppelbare Leistung und damit die Leistung des Faserlasers 1 steigt.

- 5 Die Begrenzung durch die Brillanz der Pumpquelle 5 ist damit aufgehoben. Die Intensität höherer Moden fällt radial schwächer ab, als bei der Grundmode; höhere Moden erstrecken sich somit transversal über einen größeren Radius. Deshalb wird eine Faser 2 verwendet, deren Faserkern 12 einen größeren Radius als den Radius  $r$  ausweist. Der Auskoppelradius liegt dabei unter dem Radius  $a$  und vorzugsweise über dem Radius  $r$ .

### Patentansprüche

1. Laser mit einem Resonator, der durch einen Endspiegel (3) und einem Auskoppelspiegel  
5 (4) begrenzt ist und in dem eine Faser (2) angeordnet ist, die einem aktiven Kern aufweist und durch Pumpstrahlung (6) so zu multimodaler Lasertätigkeit anregbar ist, daß sich im Resonator (3,4) mehrere transversale Moden ausbilden, wobei in der Faser (2) eine Modenmischung stattfindet und der Auskoppelspiegel (4) derart örtlich variierende Reflexionseigenschaften für Laser- und Pumpstrahlung aufweist, daß er Pumpstrahlung (6) sowie nicht aus dem aktiven  
10 Kern (13) der Faser (2) austretende Laserstrahlung reflektiert und damit niedere transversale Moden verstärkt auskoppelt.
2. Laser nach Anspruch 1, mit einem Auskoppelspiegel (4), der eine innere Zone (9) und eine die innere Zone (9) umgebende äußere Zone (10) aufweist, wobei die äußere Zone (10) für  
15 Laser- und Pumpstrahlung (6) reflektierend ist und die innere Zone (9) für Laserstrahlung (8) einen geringeren Reflexionsgrad als die äußere Zone (10) aufweist.
3. Laser nach Anspruch 2, bei dem die innere Zone (9) kreisförmig mit einem Durchmesser kleiner als der Durchmesser des aktiven Kerns (13) ist.  
20
4. Laser nach Anspruch 1, bei dem zwischen einem Ende (11) der Faser (2) und dem Auskoppelspiegel (4) eine strahlaufweitende Optik (12) geschaltet ist.
5. Laser nach Anspruch 4, bei dem die innere Zone (9) kreisförmig mit einem Durchmesser  
25 kleiner als der aufgeweitete Durchmesser des aktiven Kerns (13) ist.
6. Laser nach einem der Ansprüche 2 oder 5, bei dem die innere Zone (9) nicht coaxial mit der aus dem aktiven Kern (13) austretenden Strahlung ist.

7. Laser nach einem der obigen Ansprüche, dessen Faser (2) in Schlaufen oder Biegungen (7) gelegt ist, um die Modenmischung zu fördern.
8. Laser nach einem der obigen Ansprüche, mit einer Faser (2), deren aktiver Kern (13) D-  
5 förmigen Querschnitt hat.
9. Laser nach einem der obigen Ansprüche, bei dem ein wechselbarer Auskoppelspiegel (4) zur Wellenlängen- oder Laserstrahldurchmesserumschaltung vorgesehen ist.

1/4

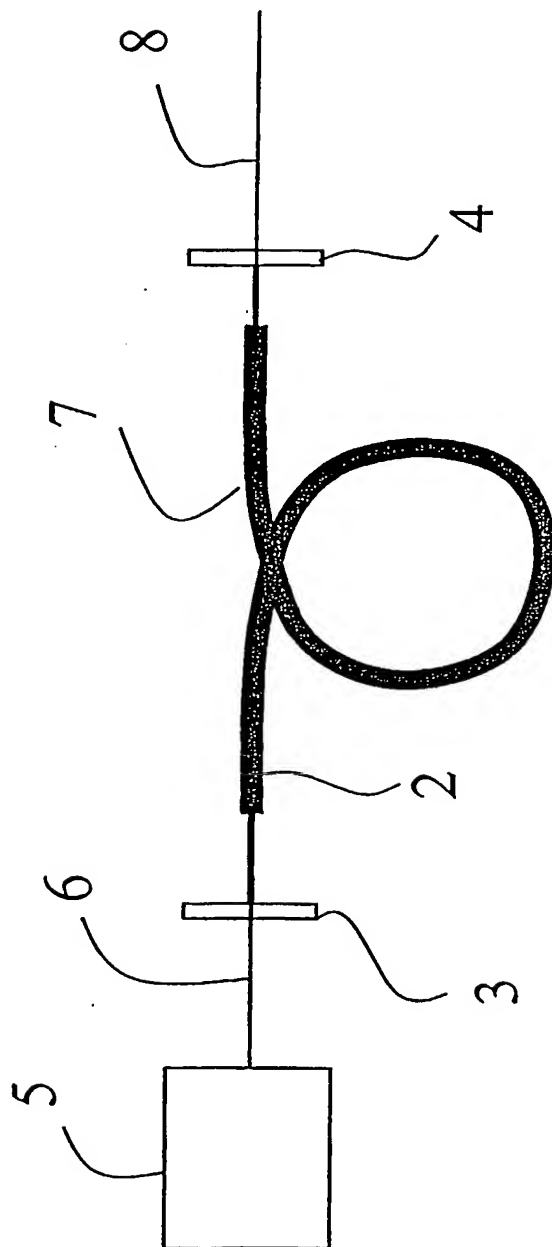


Fig. 1

2/4

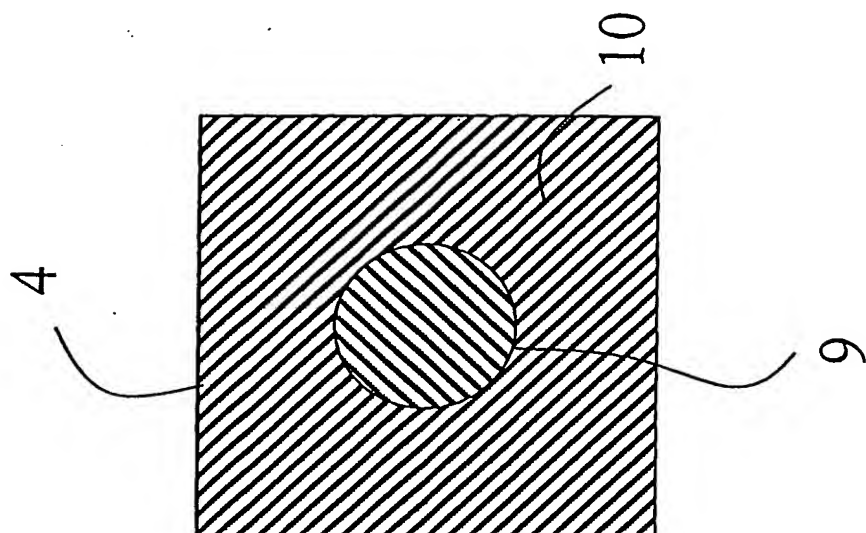


Fig. 2

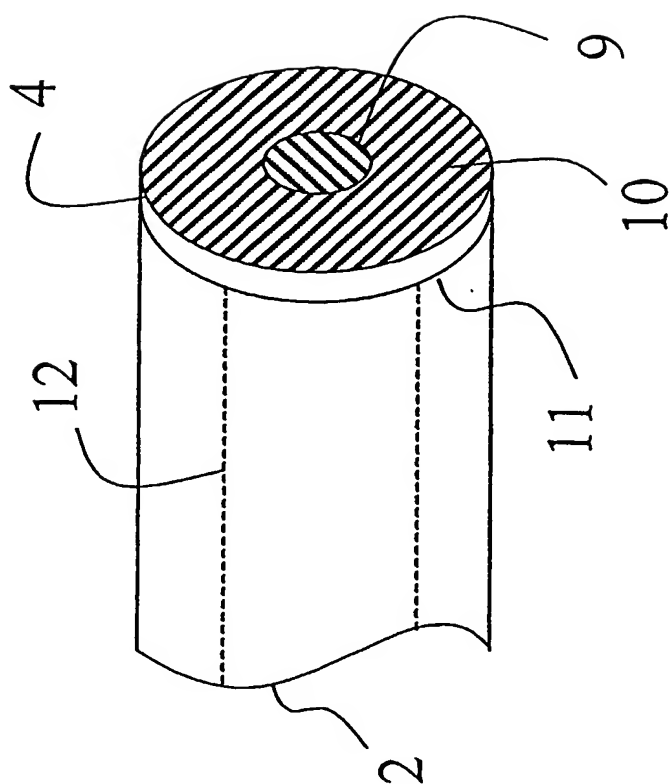


Fig. 3

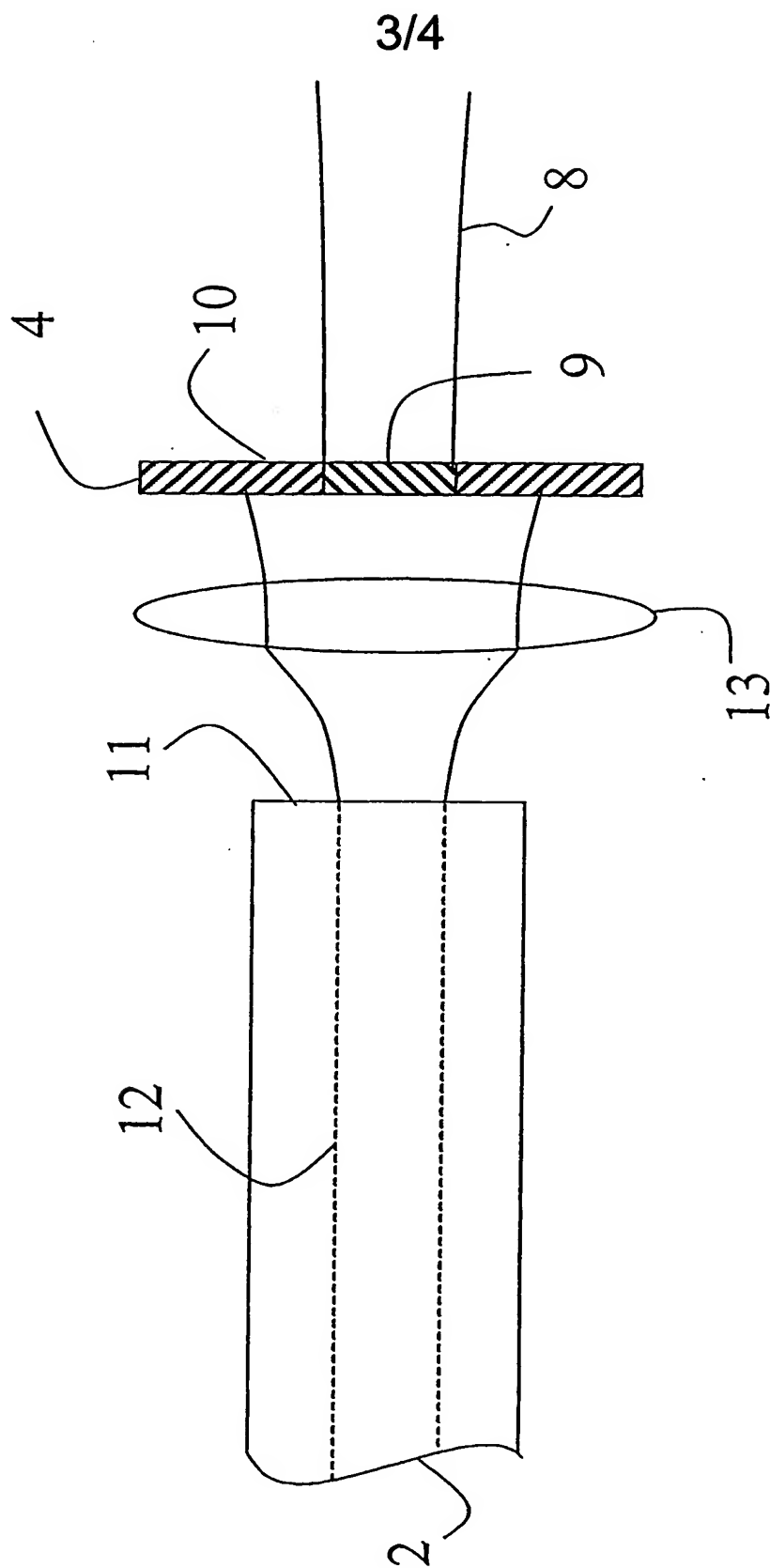


Fig. 4

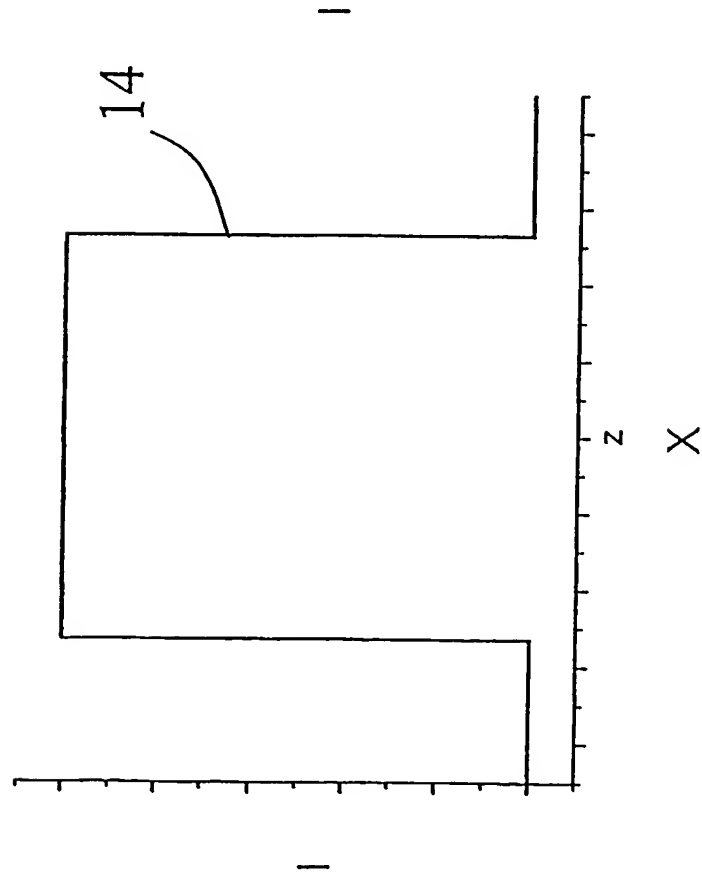


Fig. 5

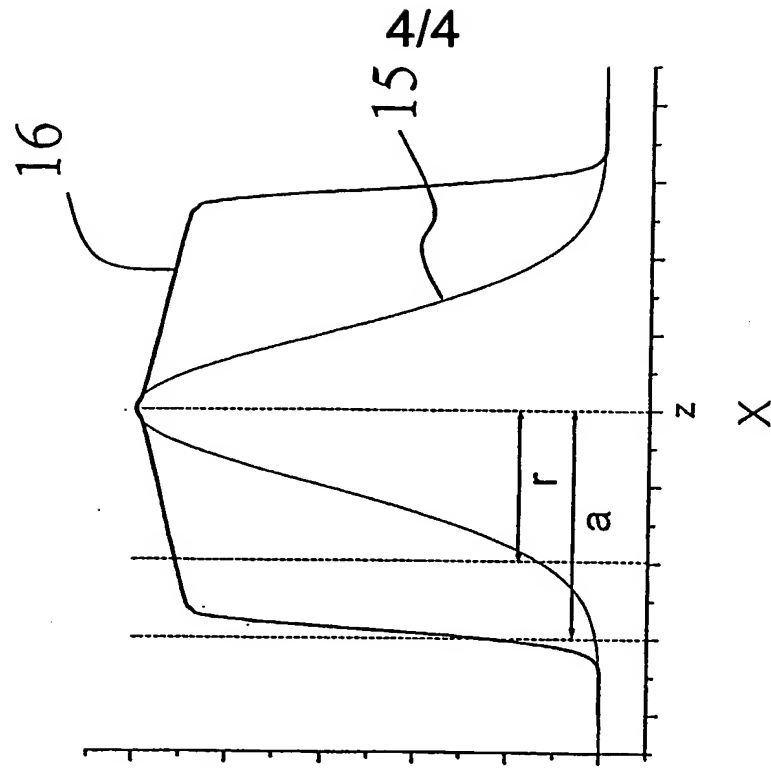


Fig. 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/EP 03/03794

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

IPC 7 H01S3/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| A          | US 5 402 438 A (TANUMA RYOHEI)<br>28 March 1995 (1995-03-28)<br>abstract<br>figures 1,3,9<br>column 2, line 26 - line 64<br>column 7, line 10 -column 8, line 9<br>---               | 1-9                   |
| A          | US 5 864 645 A (BONSE JOERN ET AL)<br>26 January 1999 (1999-01-26)<br>abstract<br>figures 1,3,4<br>column 2, line 46 - line 65<br>column 3, line 6 -column 4, line 26<br>---<br>-/-- | 1-9                   |



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 July 2003

Date of mailing of the international search report

29/07/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sauerer, C

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/EP 03/03794

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| A          | LUTHOR-DAVIES B ET AL: "A Novel Single Mode Oscillator Incorporating An Internal Multi-mode Optical Fibre And Phase Conjugate Reflector"<br>NONLINEAR OPTICS: MATERIALS, PHENOMENA AND DEVICES, 1990. DIGEST,<br>16 - 20 July 1990, pages 126-127,<br>XP010008767<br>the whole document | 1-9                   |
| A          | DE 100 09 379 A (SCHNEIDER LASER TECHNOLOGIES A)<br>13 September 2001 (2001-09-13)<br>abstract<br>column 1, line 5 -column 3, line 61<br>figures 3-5  | 1-9                   |
| A          | GB 2 197 747 A (BRITISH TELECOMM)<br>25 May 1988 (1988-05-25)<br>abstract<br>figures 3-5<br>page 2, line 13 - line 28<br>page 4, line 1 -page 8, line 25  | 1-9                   |

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

PCT/EP 03/03794

| Patent document<br>cited in search report |   | Publication<br>date |      | Patent family<br>member(s) |  | Publication<br>date |
|---|---|---------------------|------|----------------------------|--|---------------------|
| US 5402438                                | A | 28-03-1995          | JP   | 6204591 A                  |  | 22-07-1994          |
| US 5864645                                | A | 26-01-1999          | DE   | 19535526 C1                |  | 03-04-1997          |
|   |   |                     | CA   | 2204865 A1                 |  | 03-04-1997          |
|   |   |                     | CN   | 1166239 A , B              |  | 26-11-1997          |
|   |   |                     | DE   | 59602381 D1                |  | 12-08-1999          |
|   |   |                     | DK   | 793867 T3                  |  | 10-04-2000          |
|   |   |                     | WO   | 9712429 A1                 |  | 03-04-1997          |
|   |   |                     | EP   | 0793867 A1                 |  | 10-09-1997          |
|   |   |                     | JP   | 10510104 T                 |  | 29-09-1998          |
|   |   |                     | RU   | 2138892 C1                 |  | 27-09-1999          |
| DE 10009379                               | A | 13-09-2001          | DE   | 10009379 A1                |  | 13-09-2001          |
|   |   |                     | US   | 2002018287 A1              |  | 14-02-2002          |
| GB 2197747                                | A | 25-05-1988          | NONE |                            |  |                     |

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 7 H01S3/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 H01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile   | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| A          | US 5 402 438 A (TANUMA RYOHEI)<br>28. März 1995 (1995-03-28)<br>Zusammenfassung<br>Abbildungen 1,3,9<br>Spalte 2, Zeile 26 - Zeile 64<br>Spalte 7, Zeile 10 - Spalte 8, Zeile 9<br>---               | 1-9                |
| A          | US 5 864 645 A (BONSE JOERN ET AL)<br>26. Januar 1999 (1999-01-26)<br>Zusammenfassung<br>Abbildungen 1,3,4<br>Spalte 2, Zeile 46 - Zeile 65<br>Spalte 3, Zeile 6 - Spalte 4, Zeile 26<br>---<br>-/-- | 1-9                |



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. Juli 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/07/2003

 Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Sauerer, C

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile  | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| A          | LUTHOR-DAVIES B ET AL: "A Novel Single Mode Oscillator Incorporating An Internal Multi-mode Optical Fibre And Phase Conjugate Reflector"<br>NONLINEAR OPTICS: MATERIALS, PHENOMENA AND DEVICES, 1990. DIGEST,<br>16. - 20. Juli 1990, Seiten 126-127,<br>XP010008767<br>das ganze Dokument<br>--- | 1-9                |
| A          | DE 100 09 379 A (SCHNEIDER LASER TECHNOLOGIES A)<br>13. September 2001 (2001-09-13)<br>Zusammenfassung<br>Spalte 1, Zeile 5 -Spalte 3, Zeile 61<br>Abbildungen 3-5<br>---   | 1-9                |
| A          | GB 2 197 747 A (BRITISH TELECOMM)<br>25. Mai 1988 (1988-05-25)<br>Zusammenfassung<br>Abbildungen 3-5<br>Seite 2, Zeile 13 - Zeile 28<br>Seite 4, Zeile 1 -Seite 8, Zeile 25<br>-----  | 1-9                |

# INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die derselben Patentfamilie gehören

PCT/EP 03/03794

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |   | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |               | Datum der<br>Veröffentlichung |
|--|---|-------------------------------|-----------------------------------|---------------|-------------------------------|
| US 5402438   | A | 28-03-1995                    | JP                                | 6204591 A     | 22-07-1994                    |
| US 5864645   | A | 26-01-1999                    | DE                                | 19535526 C1   | 03-04-1997                    |
|  |   |                               | CA                                | 2204865 A1    | 03-04-1997                    |
|  |   |                               | CN                                | 1166239 A ,B  | 26-11-1997                    |
|  |   |                               | DE                                | 59602381 D1   | 12-08-1999                    |
|  |   |                               | DK                                | 793867 T3     | 10-04-2000                    |
|  |   |                               | WO                                | 9712429 A1    | 03-04-1997                    |
|  |   |                               | EP                                | 0793867 A1    | 10-09-1997                    |
|  |   |                               | JP                                | 10510104 T    | 29-09-1998                    |
|  |   |                               | RU                                | 2138892 C1    | 27-09-1999                    |
| DE 10009379  | A | 13-09-2001                    | DE                                | 10009379 A1   | 13-09-2001                    |
|  |   |                               | US                                | 2002018287 A1 | 14-02-2002                    |
| GB 2197747   | A | 25-05-1988                    | KEINE                             |               |                               |